

УДК 631.417
DOI: 10.7868/S25000640230405

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ПРОФИЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ПАРКОВО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

© 2023 г. П.Н. Скрипников¹, С.Н. Горбов¹, А.Ю. Матецкая¹,
С.С. Тагивердиев¹, Н.В. Сальник¹

Аннотация. Представлены результаты по изучению содержания, профильного распределения и запасов в почвенной толще различных форм углерода (органического ($C_{\text{орг.}}$) и неорганического ($C_{\text{неорг.}}$)) в почвах лесопарков Ростовской агломерации. Полученные данные базируются на основе двухлетнего исследования разновозрастных лесонасаждений, отличающихся пространственным положением, доминантами древесного яруса, флористическим составом травянистой растительности.

Содержание органического углерода в почвах под древесной растительностью достоверно выше ($4,24 \pm 0,85 \%$) в сравнении с таковым в черноземах старозалежных территорий ($3,25 \pm 0,94 \%$). Исключение составляют мониторинговые площадки молодых лесных участков возрастом 25–30 лет, которые имеют достоверно меньшие значения этого показателя (на уровне $3,42 \pm 0,76 \%$). Для запасов $C_{\text{орг.}}$ установлены аналогичные тенденции: наибольшими запасами в метровой толще городских почв обладают лесопарки и преимущественно старовозрастные участки. Полученные данные по содержанию неорганического углерода выявили развитие процесса выщелачивания карбонатов в черноземах под древесной растительностью, в них отмечено достоверное уменьшение запасов $C_{\text{неорг.}}$ ($4,35 \pm 2,02 \text{ кг/м}^2$) для метровой толщи по сравнению со старозалежными черноземами ($12,24 \pm 3,50 \text{ кг/м}^2$).

Ключевые слова: Ростовская агломерация, черноземы миграционно-сегрегационные, органический углерод, неорганический углерод, запасы органического вещества, почвы лесопарков.

PECULIARITIES OF ACCUMULATION AND PROFILE DISTRIBUTION OF DIFFERENT FORMS OF CARBON IN SOILS OF PARK-RECREATIONAL ZONE OF ROSTOV AGGLOMERATION

P.N. Skripnikov¹, S.N. Gorbov¹, A.Yu. Matetskaya¹, S.S. Tagiverdiev¹, N.V. Salnik¹

Abstract. The research of content and profile distribution of organic ($C_{\text{org.}}$) and inorganic ($C_{\text{inorg.}}$) carbon in soils of forest parks of Rostov-on-Don, Aksay and Bataysk (together Greater Rostov) is presented in the article. The obtained data are based on a two-year monitoring of different-aged forest plantations, which differ in spatial position, dominants of the tree stand, floristic composition of herbaceous vegetation. The content of organic carbon in soils under woody vegetation is significantly higher ($4.24 \pm 0.85\%$) in comparison with chernozems of long-fallow areas ($3.25 \pm 0.94\%$). The exception is the monitoring sites of young forest plots, estimated to be 25–30 years old, which show significantly lower values at $3.42 \pm 0.76\%$. For $C_{\text{org.}}$ reserves, similar trends can be stated: forest parks and mostly old-aged plots have the largest reserves in the meter thickness of urban soils. The study of inorganic carbon content peculiarities suggests leaching of carbonates in chernozems under woody vegetation. There is a significant decrease in $C_{\text{inorg.}}$ reserves ($4.35 \pm 2.02 \text{ kg/m}^2$) for metre thickness relative to long-fallow chernozems ($12.24 \pm 3.50 \text{ kg/m}^2$).

Keywords: Rostov agglomeration, migration and segregation chernozems, organic carbon, inorganic carbon, organic matter stocks, forest park soils.

¹ Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, e-mail: tagiverdiev@sfedu.ru

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятилетий количество научных работ, посвященных изучению городских почв, неуклонно растет, что обусловлено важным значением почвенного покрова в аспекте выполнения им широкого спектра экологических функций. Сюда можно отнести регулирование поверхностного стока, протекторную функцию, обеспечение роста и развития растительности и, следовательно, поддержание биологического разнообразия, а также накопление углерода [1]. Общие запасы углерода в почве, включая его органические и неорганические соединения, являются крупнейшим углеродным пулом в наземных экосистемах. Их динамика, связанная с изменением режима землепользования, играет существенную роль в глобальном парниковом эффекте и геохимическом цикле углерода. В планетарном масштабе совокупные потери углерода, обусловленные изменением землепользования с 1850 по 2000 г., составили 1/3 от антропогенных выбросов CO_2 , или 156 Гт углерода, что способствовало резкому увеличению концентрации этого соединения в атмосфере [2; 3]. Депонирование углерода почвой считается одним из экономически эффективных способов смягчения эмиссии CO_2 и глобального парникового эффекта [4; 5]. Одним из факторов, обеспечивающих накопление органического вещества, является развитие озеленения в городах. Особенно четко это прослеживается в исконно безлесных районах [6; 7]. Специфические условия формирования почвенного покрова под лесонасаждениями и в непосредственной близости от них способствуют формированию устойчивых почвенных свойств, к которым в том числе относится накопление и распределение различных форм углерода. Примечательно также то, что содержание и запасы органического вещества могут изменяться в зависимости от возраста лесонасаждений. Так, исследование хронорядов черноземов на ранней стадии эволюции под широколиственными древесными насаждениями показывает, что в первые 30 лет в их профилях наблюдалось уменьшение запасов органического углерода относительно фонового участка (чернозема под лугово-степной растительностью), а в последующие десятилетия его запасы увеличивались, достигая и превосходя эти значения в фоновых почвах [8].

В условиях урболандшафтов Ростовской агломерации под влиянием антропогенного воздействия

происходят существенные изменения почвенного покрова. Меняются морфологические, физические и химические характеристики естественных почв. Происходят изменения в проявлении основных почвообразовательных процессов, таких как гумусообразование и гумусонакопление, а также миграция карбонатов [9; 10]. В этой связи всестороннее изучение содержания и запасов различных форм углерода как основных компонентов почв региона позволит расширить современные представления об изменениях свойств черноземов под воздействием антропогенного пресса, частью которого является посадка древесной растительности. Это может стать основой для экологического мониторинга городских почв, обоснования проведения рекультивационных мероприятий, составления почвенных картосхем, а также дает возможность провести оценку экосистемных услуг по депонированию углерода на территории парково-рекреационной зоны Ростовской агломерации.

Цель данной работы – изучение содержания, профильного распределения и запасов в почвенной толще различных форм углерода (органического ($\text{C}_{\text{орг.}}$) и неорганического ($\text{C}_{\text{неорг.}}$)) в почвах лесопарков Ростовской агломерации.

В задачи исследования входило выявление особенностей накопления различных форм углерода в почвах под древесной растительностью (лесонасаждения различного возраста) и травянистых фитоценозов старозалежных участков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись естественные почвы парково-рекреационных зон Ростовской агломерации, относящиеся к одному подтипу, – черноземы миграционно-сегрегационные. Характерной особенностью данных почв является интенсивный биологический круговорот, который приводит к формированию мощного гумусово-аккумулятивного слоя. Для этого подтипа характерны миграционные формы карбонатных новообразований (мицелия, прожилок) в нижней части гумусового профиля и формирование иллювиального карбонатного горизонта – белоглазки [11]. К отличительным чертам почв лесопарков в сравнении с почвами под типичной для нашей зоны степной растительностью относятся тенденция к увеличению мощности гумусово-аккумулятивной толщи в среднем на 15–20 см, выраженная агрономически ценная структура в дерновом горизонте, пониже-

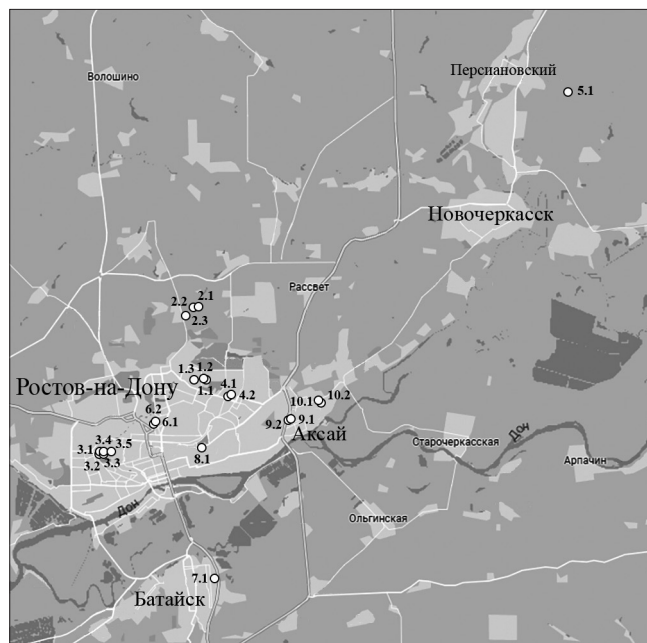


Рис. 1. Карта расположения мониторинговых площадок.
Fig. 1. Map of the location of monitoring sites.

ние глубины вскипания, размытость карбонатных стяжений и наличие рыхлой белоглазки в нижней части профиля [12].

Номенклатура изученных почв приведена в соответствии с классификацией почв России [13]. Все мониторинговые участки характеризуются минимальным влиянием антропогенного фактора (почвенный покров сохранился с периода агрогенного использования и в настоящее время отсутствует хозяйственная деятельность человека).

Для проведения исследований было заложено 19 площадок мониторинга площадью 100 м² каждая в различных лесонасаждениях и 3 площадки с такой же площадью в травянистых сообществах для возможности сопоставления результатов. Картограмма расположения мониторинговых площадок представлена на рисунке 1. При выборе места для площадок учитывали следующие факторы: состав доминирующих древесных пород, их возраст, состав и выраженность кустарникового и травянистого ярусов. В ходе работы были составлены флористические списки, определено обилие видов.

Все мониторинговые площадки были заложены на плакорных участках для минимизации влияния фактора рельефа на почвенные свойства. В выбранных рекреационных зонах было заложено 16 полнопрофильных почвенных разрезов и дополнительно отобраны поверхностные почвенные образцы из

10-сантиметрового слоя в десятикратной повторности для каждой мониторинговой площадки. В качестве контрольных площадок были выбраны участки на территории экспозиции Ботанического сада Южного федерального университета (ЮФУ) «Приазовская степь» (площадки 3.4 и 3.5), представляющие собой 60-летнюю залежь, которая была искусственно подвергнута репатриации степных и краснокнижных видов, а также старозалежный участок на территории памятника природы с заповедным режимом «Персиановская заповедная степь» (площадка 5.1) в 10 км от г. Новочеркасска. Характеристика всех исследованных участков представлена в таблице 1.

Состояние древесных растений оценивали визуально по методу В.А. Алексеева [14], позволяющему интерпретировать габитус растения как индикатор условий окружающей среды. Древесным растениям присваивали определенный балл: 1 – здоровое дерево, не имеющее нарушений кроны и ствола; 2 – ослабленное дерево, в отличие от здорового имеет некоторые значительные повреждения, например густота кроны снижена примерно на 30 %, также есть повреждения механического характера; 3 – сильно ослабленное дерево, на котором заметно ухудшение состояния примерно на 60 %; 4 – отмирающее дерево, которое имеет разрушенную крону практически до основания (густота ее составляет 15–20 % в сравнении со здоровым деревом); 5 – сухостой.

Расчет индекса состояния (жизненности) древостоя производили по формуле:

$$Ln = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

где Ln – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев; n_1 – число здоровых, n_2 – ослабленных, n_3 – сильно ослабленных, n_4 – отмирающих деревьев лесобразователя или лесобразователей на пробной площади; N – общее число деревьев (включая сухостой) на пробной площади; 100, 70, 40 и 5 – коэффициенты, выражающие жизненное состояние здоровых, поврежденных, сильно поврежденных и отмирающих деревьев, % (рис. 2).

Сомкнутость крон древостоя и общее проективное покрытие травянистого яруса определяли визуально и выражали в процентах.

Обилие видов растений определяли по шкале Брауна-Бланке [15].

Таблица 1. Характеристика мониторинговых площадок
Table 1. Characteristics of monitoring sites

Название участка Site name	Номер площадки Site number	Координаты Coordinates	Возраст лесонасаждения (лет) Age of plantation (years)	Сомкнутость крон, % Crown closure, %	Характеристика Characteristic
Темерницкая роща, г. Ростов-на-Дону / Temernitskaya grove, Rostov-on-Don	1.1	47.294859° N 39.762646° E	65–70	60	Крупное искусственное лесонасаждение на северо-восточной окраине города / Large artificial afforestation on the north-eastern edge of the city
	1.2	47.289895° N 39.761479° E	65–70	60	
	1.3	47.291334° N 39.747751° E	25–30	30	
Щепкинский лес, г. Ростов-на-Дону / Shchepkinskiy forest, Rostov-on-Don	2.1	47.343712° N 39.744084° E	80–85	80	Крупное искусственное лесонасаждение на северо-восточной окраине города / Large artificial afforestation on the north-eastern edge of the city
	2.2	47.340411° N 39.737190° E	80–85	60	
	2.3	47.344121° N 39.750227° E	80–85	85	
Ботанический сад Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону / Botanical Garden of the Southern Federal University, Rostov-on-Don	3.1	47.232851° N 39.645382° E	60–65	30	Питомники хвойных пород Conifer nurseries
	3.2	47.233300° N 39.648200° E	70–75	20	
	3.3	47.236400° N 39.645800° E	50–55	80	Лесополоса из дуба вблизи пашни / Oak woodland in the vicinity of arable land
	3.4	47.237514° N 39.656652° E	–	–	Контрольный залежный участок Control fallow land
	3.5	47.234234° N 39.657186° E	–	–	Контрольный залежный участок Control fallow land
Лесонасаждение на территории 2-го поселка Орджоникидзе, г. Ростов-на-Дону / Afforestation on the territory of 2 nd Ordzhonikidze settlement, Rostov-on-Don	4.1	47.277120° N 39.783838° E	80–85	80	Крупное искусственное лесонасаждение на северо-восточной окраине города / Large artificial afforestation on the north-eastern edge of the city
	4.2	47.277600° N 39.784600° E	80–85	45	
ООПТ «Персиановская заповедная степь» / Specially Protected Natural Territory “Persianovskaya Protected Steppe”	5.1	47.504655° N 40.152729° E	–	–	Контрольный залежный участок Control fallow land
Парк имени К. Чуковского, г. Ростов-на-Дону / Chukovsky Park, Rostov-on-Don	6.1	47.258397° N 39.704121° E	80–85	30	Старый городской парк Old city park
	6.2	47.256614° N 39.702811° E	80–85	30	
Лесонасаждение в г. Батайске / Afforestation in Bataysk town	7.1	47.256614° N 39.702811° E	20–25	–	Лесополоса вблизи кладбища Forest belt near the cemetery

Название участка Site name	Номер площадки Site number	Координаты Coordinates	Возраст лесонасаждения (лет) / Age of plantation (years)	Сомкнутость крон, % Crown closure, %	Характеристика Characteristic
Парк имени Н. Островского, г. Ростов-на-Дону / Ostrovsky Park, Rostov-on-Don	8.1	47.242500° N 39.756389° E	120	50	Старый городской парк Old city park
Участки леса в г. Аксае Forest plots in Aksay town	9.1	47.261178° N 39.850075° E	25–30	40	Стихийно возникший лесной участок Spontaneous forest area
	9.2	47.257851° N 39.848214° E	25–30	30	
	10.1	47.274444° N 39.883333° E	45–50	50	Лесополоса на юго-западной границе города / Forest belt in the south-western part of the town
	10.2	47.275556° N 39.883056° E	45–50	50	

Содержание углерода определяли методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе углерода TOC-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Данный метод основан на высокотемпературном каталитическом сгорании пробы и последующем детектировании выделившегося углекислого газа. Анализ пробы происходит в два этапа: общий углерод определяется путем сжигания пробы при температуре 900 °С, неорганический – при 200 °С с добавлением ортофосфорной кислоты. Органический углерод вычисляется путем вычета из общего – неорганического. Преимущество данного метода заключается в том, что побочным результатом анализа является определение количества неорганического углерода в сухом образце.

Расчет запасов почвенного органического вещества осуществляется на основании полученных в ходе проведенных лабораторных анализов данных по следующей формуле:

$$\text{Запасы } C_{\text{орг.}} = C_{\text{орг.}} \times H \times BD,$$

где $C_{\text{орг.}}$ – содержание органического углерода, %; H – мощность горизонта, см; BD – плотность почвы, г/см³, суммарный коэффициент пересчета в кг/м² равен 0,1.

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью программного обеспечения Statistica for Windows 10.0, MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика мониторинговых площадок. Список выявленных на мониторинговых площадках видов древесных и травянистых растений включает в себя 94 таксона, относящихся к 78 родам из 39 семейств и трем классам: Pinopsida, Magnoliopsida и Liliopsida. На контрольных площадках (Ботанический сад ЮФУ и «Персиановская заповедная степь») произрастает естественная для степной зоны растительность с доминированием видов из семейств Poaceae и Asteraceae [16; 17]. В таблице 2 приведен список видов растений, отмеченных на площадках мониторинга с различными типами древесных насаждений, с указанием их обилия и общего проективного покрытия травянистого яруса. На рисунке 2 приведены данные по жизненному состоянию древостоя.

Темерницкая роща расположена на северо-восточной окраине г. Ростова-на-Дону. Всего на трех учетных площадках (1.1–1.3) отмечено 50 видов цветковых растений из 28 семейств. На площадках 1.1 и 1.2 в древостое доминирует *Robinia pseudoacacia*, в качестве видов-содоминантов присутствуют и другие деревья первой величины – *Fraxinus excelsior* (площадка 1.1) и *Gleditsia triacanthos* (площадка 1.2). Сомкнутость крон на этих площадках составляет 60 %. Жизненное со-

стояние деревьев ослабленное (Ln равно 50 и 52 %). На площадке 1.1 выражен обильный подрост таких видов, как *Ailanthus altissima* и *Ulmus pumila*. Кустарниковый ярус развит, его проективное покрытие 25 %. На площадке 1.1 произрастает *Cornus sanguinea*, на площадке 1.2 – *Cotinus coggygria*. Остальные представители кустарников встречаются редко. Травянистый ярус не отличается высоким видовым разнообразием. В конце мая на площадке 1.1 он представлен тремя видами: *Galium aparine*, *Geum urbanum* и *Alliaria petiolata*. Доминантом выступает подмаренник цепкий. Общее проективное покрытие составляет 50 %. На площадке 1.2 зарегистрировано 9 видов травянистых растений. Общее проективное покрытие – 75 %. Доминировали *Geum urbanum* и *Glechoma hederacea*. Площадка 1.3 сильно отличается по характеру растительности от предыдущих. Участок, на котором она заложена, представляет собой достаточно молодые посадки. Древесный ярус представлен *Robinia pseudoacacia*, из кустарников присутствует только *Amorpha fruticosa* (несколько небольших экземпляров по краю). Сомкнутость крон 30 %, жизненное состояние сильно ослабленное ($Ln = 45$ %), на многих стволах видны сильные повреждения от пожара. Травянистый ярус развит очень хорошо (общее проективное покрытие 95 %) и представлен 24 видами. Доминантами являются *Elytrigia repens* и *Poa pratensis* с обилием 5 и 4 балла соответственно. Среднее число видов на площадку мониторинга в этом лесонасаждении – 21. Самое высокое видовое разнообразие (27 видов) отмечено на площадке 1.3.

В Щепкинском лесу было заложено 3 площадки (2.1–2.3). Здесь суммарно отмечено 28 видов цветковых растений. На площадке 2.1 доминантом древесного яруса является *Acer pseudoplatanus*, также в большом количестве отмечен *Quercus robur*. На площадке 2.2 дуб является господствующим видом. Сомкнутость крон на площадке 2.1 составила 80 %, на площадке 2.2 – 60 %. Жизненное состояние древостоя очень хорошее (коэффициент равен 99 и 91 %). Отмечены сеянцы *Acer negundo* и *A. tataricum*. Кустарниковый ярус на этих площадках выражен слабо, сильнее он развит на площадке 2.2, где встречаются *Euonymus europaeus* и *Cornus sanguinea* (проективное покрытие 10 %). Травянистый ярус развит слабо. На площадке 2.1 его проективное покрытие составило 5 %, сформирован он здесь только *Geum urbanum*. На площадке 2.2 отмечено 7 видов трав, преобладает *Glechoma hederacea*, общее проективное покрытие

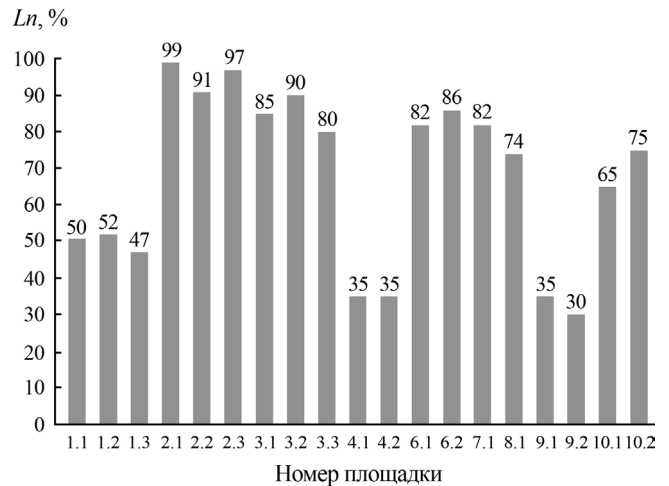


Рис. 2. Жизненное состояние деревьев: при показателе от 100 до 80 % древостой считается здоровым, при 79–50 % – ослабленным, при 49–20 % – сильно ослабленным, при 19 % и ниже – полностью разрушенным.

Fig. 2. Life state of trees: if the indicator is between 100 and 80%, the tree stand is considered healthy, if 79–50% – weakened, if 49–20% – severely weakened, if 19% or less – completely destroyed.

составило 10 %. Площадка 2.3 заложена на участке, основу которого составляют два вида кустарников: *Corylus avellana* и *Cornus sanguinea*. Девять видов деревьев либо представлены единичными экземплярами (*Pyrus communis*, *Celtis occidentalis*, *Malus domestica*), либо это сеянцы (*Acer negundo*, *Quercus robur* и др.). Сомкнутость крон на площадке составила 85 %, жизненное состояние хорошее (коэффициент 97 %). Травянистый ярус здесь скудный, его общее проективное покрытие 5 %, образован четырьмя видами: *Geum urbanum*, *Galium aparine*, *Fumaria schleicheri*, *Cephalanthera damasonium*. Обилие каждого из них не превышает 1–3 %. Среднее число видов на площадку – 15,7.

На территории питомника Ботанического сада ЮФУ мониторинговые площадки были заложены в чистых посадках *Picea abies* (площадка 3.1) и *Pinus pallasiana* (площадка 3.2), а также на участке с лиственными породами *Quercus robur*, *Acer campestre*, *A. pseudoplatanus* (площадка 3.3). На площадках 3.1 и 3.2 другие древесные виды отмечены только в виде сеянцев. Сомкнутость крон тут невысокая (30 и 20 %). Кустарниковый ярус есть только в ельнике, где он представлен *Crataegus curvisepala* с обилием 5 %. Под хвойными породами на протяжении всего вегетационного сезона в травостое преобладает представитель лесной растительности *Viola odorata*. Кроме него отмечено еще 12 видов. Общее

Таблица 2. Состав и обилие видов растений на площадках мониторинга, расположенных в различных типах лесонасаждений
Table 2. Composition and abundance of plant species at monitoring sites located in different types of forest plantations

Виды растений Plant species	Площадки мониторинга / Site number																			
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	6.1	6.2	7.1	8.1	9.1	9.2	10.1	10.2	
Древостой и подрост / Tree stands and undergrowth																				
<i>Acer campestre</i> L.									2			r			r					
<i>Acer negundo</i> L.	3				3	2				2	3			2		2	1			
<i>Acer platanoides</i> L.				+	1															
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	1			4					3						1			2	3	
<i>Acer tataricum</i> L.	1			2	+	2						2				1	+			
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	3		+											2			+			
<i>Betula pendula</i> Roth		+																		
<i>Celtis occidentalis</i> L.	2					r		2					+			+		+		
<i>Cerasus mahaleb</i> (L.) Mill.					1		2	2												
<i>Fraxinus americana</i> L.												2			2					
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	3	2		2	+	r				3	1	+	2							
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	2	2											1				+			
<i>Juglans regia</i> L.		+								1										
<i>Malus domestica</i> Borkh.						r														
<i>Morus alba</i> L.							r								2					
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.							4													
<i>Pinus pallasiana</i> D. Don								4												
<i>Prunus armeniaca</i> L.					1	r														
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.												r								
<i>Prunus domestica</i> L.													r							
<i>Pyrus communis</i> L.	r				r	r			+											
<i>Quercus robur</i> L.	+	+		3	5	2	+	1	3											
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	5	4	5							4	3	3		4	r			4	3	
<i>Sorbus aucuparia</i> L.		+																		
<i>Sorbus hybrida</i> L.															1					
<i>Ulmus glabra</i> Huds.															1	+				
<i>Ulmus pumila</i> L.	4				1	2							4	3		2	2	+	+	
Кустарники / Shrubs																				
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	+		+						1											
<i>Berberis vulgaris</i> L.		+																		
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	+								+											
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.		2		1	1	2						1		1		2	2			
<i>Cornus sanguinea</i> L.	2				2	5										3	1		3	
<i>Corylus avellana</i> L.						5														
<i>Crataegus curvisepala</i> Lindum.							r	2		1										
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.				r																
<i>Euonymus europaeus</i> L.					2					5	2	r								
<i>Lonicera tatarica</i> L.		+							+											
<i>Rosa canina</i> L.				1	+								r	+	r	r		1		
<i>Sambucus nigra</i> L.							+	r				r		r	r	r				
<i>Syringa vulgaris</i> L.													1							
Травянистый ярус / Herbaceous tier																				
<i>Agrimonia eupatoria</i> L.			1	r					+											
<i>Ajuga genevensis</i> L.												1								
<i>Alliaria petiolata</i> (Bieb.) Cavara et Grande	1		1							+	1	3	2		5	4	3	2	2	

Продолжение табл. 2

Виды растений Plant species	Площадки мониторинга / Site number																			
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	6.1	6.2	7.1	8.1	9.1	9.2	10.1	10.2	
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.			2											2						
<i>Arctium lappa</i> L.							r	r							+					
<i>Aristolochia clematitis</i> L.		2																		
<i>Artemisia vulgaris</i> L.			1											+						
<i>Asperugo procumbens</i> L.										1										
<i>Ballota nigra</i> L.			1						2					3						
<i>Bromus tectorum</i> L.			1				+	+	1											
<i>Bryonia alba</i> L.							+													
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.										3	2	2	1					+	+	
<i>Cephalanthera damasonium</i> (Mill.) Druce						1														
<i>Chaerophyllum temulum</i> L.												1				5	4			
<i>Chelidonium majus</i> L.		+			+		+	2	2	2	3	1	2			2		+		
<i>Cirsium canum</i> (L.) All.							+	r												
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser							+	+												
<i>Clematis recta</i> L.							+													
<i>Convolvulus arvensis</i> L.			1					r	+					+						
<i>Coronilla varia</i> L.			2					r	+					+						
<i>Crepis tectorum</i> L.			1																	
<i>Cynoglossum officinale</i> L.								+												
<i>Echium vulgare</i> L.									+											
<i>Elytrigia repens</i> Desv.			5							2		1	2							
<i>Euphorbia uralensis</i> Fisch. ex Zink			+																	
<i>Ficaria verna</i> Huds.												3								
<i>Fumaria schleicheri</i> Soy.-Will		1			+	1	+	+	+											
<i>Galium aparine</i> L.	3	2	3		1	r	2	r	2	+	3		1	3		3			3	
<i>Geum urbanum</i> L.	2	2	1	+	1	1			1	3	1	3		2	4	5		2	2	
<i>Glechoma hederacea</i> L.		2			2				1				2		2					
<i>Lactuca serriola</i> L.			1																	
<i>Lamium amplexicaule</i> L.												3								
<i>Lamium purpureum</i> L.										2	1									
<i>Lepidium draba</i> L.										2		+				3	+			
<i>Lithospermum arvense</i> L.			2																	
<i>Nepeta cataria</i> L.										1	+	+								
<i>Origanum vulgare</i> L.			1																	
<i>Physalis alkekengi</i> L.			2				1	2	+											
<i>Plantago intermedia</i> DC.										+			r							
<i>Poa bulbosa</i> L.										4	1	4								
<i>Poa pratensis</i> L.			4							2	3			1	+					
<i>Polygonatum hirtum</i> (Bosc ex Poir.) Pursh			+																	
<i>Polygonum aviculare</i> L.										1										
<i>Sonchus arvensis</i> L.			1																	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill			1																	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.										3	1	2	3							

Виды растений Plant species	Площадки мониторинга / Site number																			
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	6.1	6.2	7.1	8.1	9.1	9.2	10.1	10.2	
<i>Tanacetum vulgare</i> L.		1	+																	
<i>Taraxacum officinale</i> Webb		+	+		+		+	r		3		3	+	2						
<i>Valeriana officinalis</i> L.							1	+												
<i>Veronica polita</i> Fr.													2							
<i>Viola hirta</i> L.		2								1	3									
<i>Viola odorata</i> L.			2		+		5	4	2			4	2		4	3		+	1	
Лианы / Lianas																				
<i>Humulus lupulus</i> L.							2	2												
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.								1							2					
Общее проективное покрытие травянистого яруса, % / General projective coverage of the herbaceous layer, %	50	75	95	5	10	5	95	95	60	90	75	75	60	40	70	35	30	20	25	
Всего видов / Total species	17	19	27	11	19	17	20	20	21	22	16	23	18	16	15	15	10	10	9	

Примечание. г – единственный экземпляр; + – незначительное покрытие (до 1 %); 1 – проективное покрытие вида до 5 % площади или растений много, но они довольно изреженные; 2 – от 5 до 25 % площади; 3 – от 25 до 50 % площади; 4 – от 50 до 75 % площади; 5 – более 75 % площади.

Note. г – single specimen; + – insignificant coverage (up to 1%); 1 – projective coverage of the species up to 5% of the area or there are many plants, but they are rather sparse; 2 – from 5 to 25% of the area; 3 – from 25 to 50% of the area; 4 – from 50 to 75% of the area; 5 – more than 75% of the area.

проективное покрытие на этих площадках 95 %. На площадке 3.3 сомкнутость крон составляет 80 %. Под пологом деревьев кустарники и травы немногочисленны. Общее проективное покрытие травянистого яруса составило 60 %, он представлен 12 видами с невысоким обилием. Среднее число видов на площадку – 20,3. Жизненное состояние древостоя на всех площадках хорошее, большинство деревьев здорово. Коэффициент Ln от 80 (площадка 3.3) до 90 % (площадка 3.2).

Мониторинговые площадки 4.1. и 4.2 в роще, расположенной во 2-м поселке Орджоникидзе г. Ростова-на-Дону, находятся на разном удалении от дороги с оживленным движением. Всего здесь отмечено 23 вида. На площадке 4.1 доминируют *Robinia pseudoacacia* и *Fraxinus excelsior*. Сомкнутость крон составила 80 %. Кустарниковый ярус из *Euonymus europaeus* хорошо выражен. На момент исследования травянистый покров был представлен 17 видами, его проективное покрытие составляло 90 %. Доминировали *Poa bulbosa*, *Capsella bursa-pastoris*, *Taraxacum officinale*. Площадка 4.2 расположена в глубине лесонасаждения. Древостой представлен *Robinia pseudoacacia* и *Acer negundo* в

равном соотношении. Сомкнутость крон здесь гораздо меньше (45 %). Кустарниковый ярус также представлен бересклетом, но его обилие значительно ниже. Травянистый покров имеет общее проективное покрытие 75 %. Здесь отмечено 11 видов, среди которых преобладают *Chelidonium majus*, *Galium aparine*, *Poa pratensis*. Жизненное состояние деревьев этого массива сильно угнетенное (35 %), очень много деревьев, имеющих низкие показатели жизнестойкости, отмирающих. Среднее число видов на площадку – 19.

На двух площадках (6.1 и 6.2), заложенных в парке имени К. Чуковского г. Ростова-на-Дону, было отмечено 33 вида растений. На площадке 6.1 в древостое доминировали *Robinia pseudoacacia* и *Fraxinus excelsior*. Кустарниковый ярус сильно разрежен, в нем отмечены экземпляры *Cotinus coggygria*. На площадке 6.2 в качестве доминирующего вида выступает *Ulmus pumila* с примесью *Fraxinus excelsior*, в кустарниковом ярусе – *Syringa vulgaris* с невысоким обилием (проективное покрытие 5 %). На обеих площадках сомкнутость крон составила 30 %. В травянистом покрове на площадке 6.1 на момент описания было отмечено

17 видов, преобладали *Viola odorata* и *Poa bulbosa*, общее проективное покрытие – 75 %. На площадке 6.2 травянистый ярус развит слабее (общее проективное покрытие 60 %), представлен 13 видами, преимущественно малолетниками (*Stellaria media*, *Alliaria petiolata* и др.). Из многолетников отмечены *Viola odorata*, *Elytrigia repens* и др. Их проективное покрытие не превышает 10 %. Среднее число видов 20,5. Жизненное состояние древостоя хорошее (Ln равно 82 и 86 %).

Площадка в г. Батайске заложена в молодой лесополосе, рядом с городским кладбищем. Здесь отмечено 16 видов растений. Древостой сформирован *Robinia pseudoacacia* и *Ulmus pumila*. Сомкнутость крон 30 %. В качестве подростка отмечены сеянцы *Ailanthus altissima* и *Acer negundo* (обилие 2). Кустарниковый ярус развит скудно, в его составе преобладает *Cotinus coggygria* (обилие 1). В травянистом ярусе отмечено 9 видов, доминируют *Ballota nigra* и *Galium aparine*. Общее проективное покрытие равно 40 %. Жизненное состояние древостоя хорошее (82 %).

Участок с площадкой 8.1 в парке имени Н. Островского г. Ростова-на-Дону является самым старым по срокам создания и расположен в отдалении от наиболее посещаемых зон этого парка. Всего тут отмечено 15 видов. Древесный ярус на площадке представлен *Fraxinus americana*, во втором древесном ярусе *Morus alba*, *Sorbus hybrida* и др. Сомкнутость крон составляла 50 %, жизненное состояние древостоя ослабленное ($Ln = 73$ %). Кустарниковый ярус практически отсутствует (отмечен единственный экземпляр *Sambucus nigra*). Травянистый покров развит достаточно хорошо (общее проективное покрытие 70 %), он представлен 7 видами, среди которых доминируют *Viola odorata* и *Geum urbanum* (проективное покрытие каждого из них 50 %). Весной к доминантам был отнесен и двулетник *Alliaria petiolata*.

Площадки 9.1 и 9.2 заложены в г. Аксае, на стихийно возникшем древесном участке, возраст которого составляет не более 30 лет. Видовое разнообразие тут невысокое, на площадке 9.1 встречено 15 видов, на площадке 9.2 – 10 видов. Основу древесного яруса составляют *Acer negundo* и *Ulmus pumila*. Древостой разрежен, сомкнутость крон невысока (40 и 30 % соответственно). Выражен кустарниковый ярус, сформированный *Cotinus coggygria* и *Cornus sanguinea*. Общее проективное покрытие травянистого яруса составляло 35 и 30 %. В качестве доминанта выступает *Chaerophyllum temulum*. На площадке 9.1 кроме него достаточно

обильны *Galium aparine*, *Viola odorata* и некоторые однолетники. Среднее число видов на площадке 12,5. Жизненное состояние древостоя сильно ослабленное (Ln равно 35 и 30 %).

В лесополосе на юго-западной границе г. Аксае, в которой были заложены площадки 10.1 и 10.2, отмечено 12 видов. В качестве основных пород выступают *Robinia pseudoacacia* и *Acer pseudoplatanus*. Кустарниковый ярус, состоящий из *Cornus sanguinea*, хорошо выражен на площадке 10.2. На площадке 10.1 он представлен немногочисленными экземплярами *Sambucus nigra*. Травянистый ярус развит слабо, его общее проективное покрытие составляет 20 и 25 %. Представлен этот ярус 5 видами преимущественно однолетников с невысоким обилием. В качестве доминанта выступает *Galium aparine*. Среднее число видов на площадку мониторинга 9,5. Жизненное состояние древостоя ослабленное.

Содержание, профильное распределение и запасы различных форм углерода на исследуемых площадках. Химический анализ почвенных образцов из слоя 0–10 см показал следующие результаты: наблюдается статистически достоверное (U -критерий, $p < 0,05$) увеличение содержания органического углерода в поверхностном слое в черноземах под древесной растительностью. В среднем оно достигает $4,24 \pm 0,85$ % ($n = 386$), тогда как в черноземах

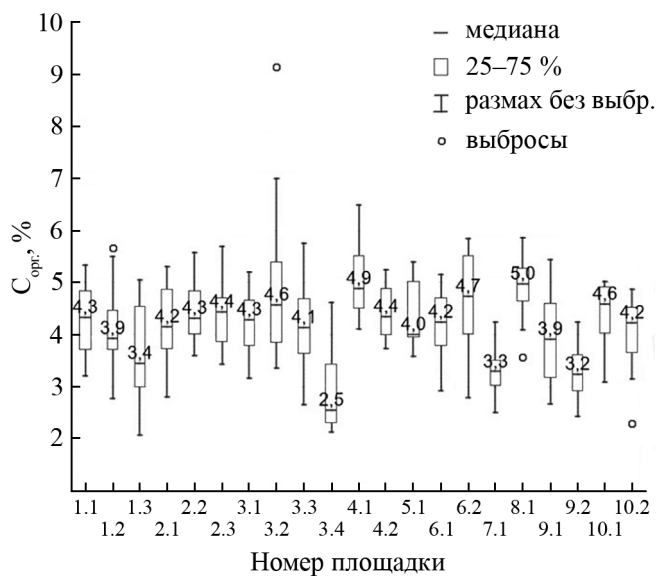


Рис. 3. Характеристика медианы и межквартильного размаха для $C_{орг.}$ на исследованных площадках в поверхностном 10-сантиметровом слое.

Fig. 3. Characteristic of median and interquartile range for $C_{org.}$ at the studied monitoring sites in the 10 cm surface layer.

Таблица 3. Профильное распределение $C_{\text{орг.}}$ (%) в репрезентативных почвенных разрезах
Table 3. Profile distribution of $C_{\text{org.}}$ (%) in representative soil transects

Площадка мониторинга Monitoring site	Горизонт Horizon	Глубина Depth	$C_{\text{орг.}}$, % $C_{\text{org.}}$, %
Темерницкая роща, площадка 1.1 Temernitskaya grove, site 1.1	AU rz	0–10	3,84
	AU	10–30	2,71
	AU	30–50	2,46
	AU lc	50–70	1,86
	AU lc	70–90	1,30
	BCA nc	90–110	0,45
	C	110–130	0,53
Щепкинский лес, площадка 2.1 / Shchepkinskiy forest, site 2.1	AU rz	0–10	5,31
	AU	10–30	2,32
	AU	30–50	1,88
	AU lc	50–75	1,46
	AU lc	75–90	0,89
	BCA nc	90–110	0,52
	C ca	110–130	0,32
Питомник хвойных деревьев в Ботаническом саду ЮФУ, площадка 3.1 / Coniferous tree nursery of the Botanical Garden of the Southern Federal University, site 3.1	AU rz	0–10	4,37
	A	10–30	1,77
	AU	30–50	1,56
	AU lc	50–70	0,86
	AU lc	70–95	0,67
	BCA nc	95–110	0,45
	C ca	110–140	0,20
Залежный участок, площадка 3.4 Fallow area, site 3.4	AU rz	0–10	2,47
	AU	10–15	2,35
	AU	15–35	1,90
	AU lc	35–60	1,47
	AU lc	60–75	0,99
	BCA nc	75–95	0,68
	C ca	95–135	0,27
Участок леса в г. Аксае, площадка 10.2 Forest plot in Aksay town, site 10.2	AU rz	0–10	3,65
	AU	10–40	2,63
	AU	40–55	2,21
	BCA	55–80	1,38
	BCA lc	80–105	0,90
	C ca	105–115	0,45

залежных участков Ростовской агломерации содержание $C_{\text{орг.}}$ составляет $3,25 \pm 0,94$ % ($n = 43$).

Сравнивая между собой мониторинговые площадки по содержанию $C_{\text{орг.}}$ в поверхностном слое, можно прийти к выводу, что вне зависимости от структуры фитоценоза и состава образующих его видов содержание органического углерода имеет близкие значения и не показывает статистически достоверных отличий. Наибольшие медианные

значения в содержании органического углерода были выявлены в лесонасаждении 2-го поселка Орджоникидзе (площадка 4.1) – 4,9 %, в парках имени К. Чуковского (площадка 6.2) – 4,7 %, имени Н. Островского (площадка 8.1) – 5,0 %, в питомнике Ботанического сада ЮФУ (площадка 3.2) – 4,6 % (рис. 3).

Выявлено, что две из вышеперечисленных мониторинговых площадок, а именно в лесонасажде-

нии во 2-м поселке Орджоникидзе (площадка 4.1) и в парке имени Н. Островского (площадка 8.1), имеют статистически достоверно большее содержание $C_{орг.}$ по сравнению со всеми остальными исследованными участками.

Содержание органического углерода на площадках мониторинга в Темерницкой роще (площадка 1.3) и в г. Аксае (площадки 9.1, 9.2), наоборот, достоверно ниже, чем в других лесопарках Ростовской агломерации. Такое низкое содержание $C_{орг.}$ можно объяснить более поздним формированием здесь древесной растительности, о чем свидетельствует возраст *Robinia pseudoacacia*, являющейся доминантом древесного яруса на данных участках. Так, на первой стадии развития лесного участка в почву поступает малое количество отмершей наземной и корневой массы растений из-за молодости лесного фитоценоза, а часть гумуса, сформировавшегося до лесомелиоративных мероприятий, минерализируется [8]. Также следует учитывать и то, что длительное время (до середины 70-х гг. прошлого века) участок Темерницкой рощи (площадка 1.3) принадлежал совхозу и использовался в сельскохозяйственной деятельности, что могло привести к уменьшению запасов гумуса и обеднению почвы органическим углеродом. Совокупность данных по истории формирования древесной растительности, а также проведенные ботанические исследования на площадках в г. Аксае (площадки 9.1 и 9.2) позволяют определить возраст деревьев данного лесного участка в 20–30 лет. Интересно то, что данный участок образовался стихийно, без проведения лесомелиоративных мероприятий. Таким образом, можно сделать вывод, что определяющую роль в процессе накопления органического вещества в поверхностном слое почв парково-рекреационной зоны играет возраст лесонасаждений.

Полученные результаты по распределению общего органического вещества выявили две тенденции. С одной стороны, возможны пики накопления гумуса в поверхностном дерновом горизонте с последующим относительно резким снижением его содержания в нижележащей толще, что четко проявляется в почвенных разрезах, заложенных на территории питомников хвойных пород Ботанического сада ЮФУ (площадки 3.1 и 3.2) и в Щепкинском лесу (площадки 2.1–2.3). В горизонте АУ содержание $C_{орг.}$ уменьшается в 2–2,5 раза по сравнению с дерновым горизонтом, а далее по профилю распределение органического вещества изученных разре-

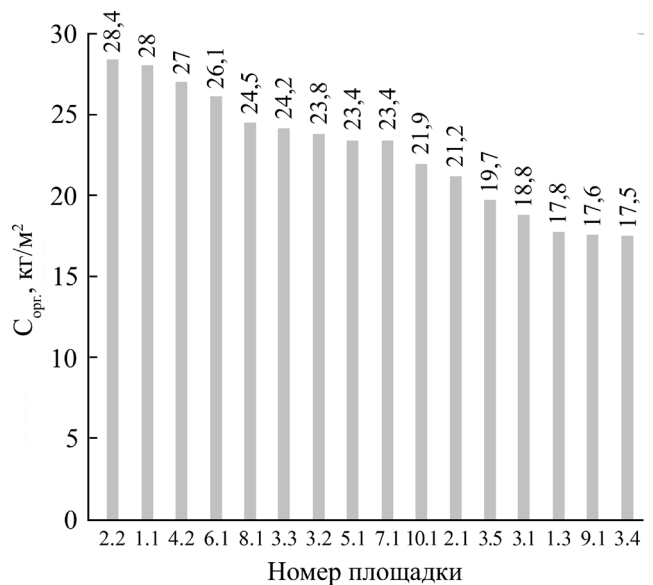


Рис. 4. Запасы органического углерода в метровой толще.
Fig. 4. Organic carbon stocks in meter thickness.

зов имеет сходные величины. Это свидетельствует о тенденции к формированию лесного типа гумусового профиля в черноземах под искусственными древесными насаждениями. С другой стороны, отдельные площадки мониторинга (Темерницкая роща, лесонасаждение во 2-м поселке Орджоникидзе и все залежные участки) характеризуются

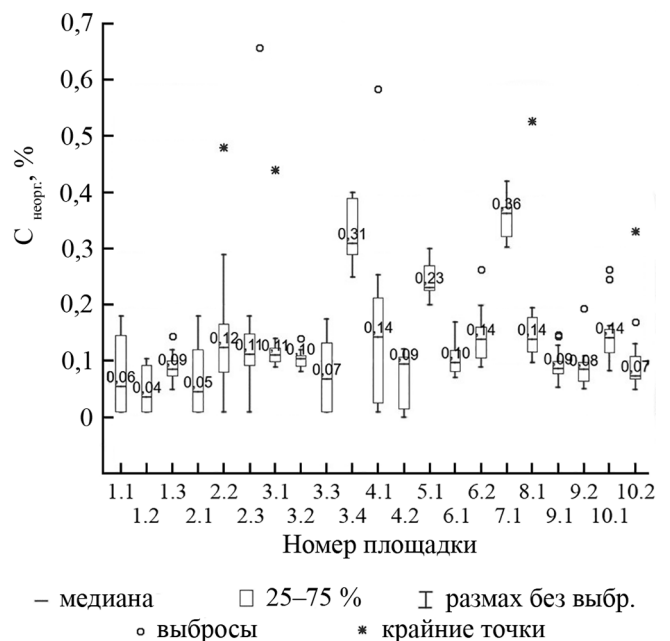


Рис. 5. Характеристика медианы и межквартильного размаха для $C_{исорг.}$ на исследованных площадках в поверхностном 10-сантиметровом слое.
Fig. 5. Characteristic of median and interquartile range for $C_{исорг.}$ at the studied monitoring sites in the 10 cm surface layer.

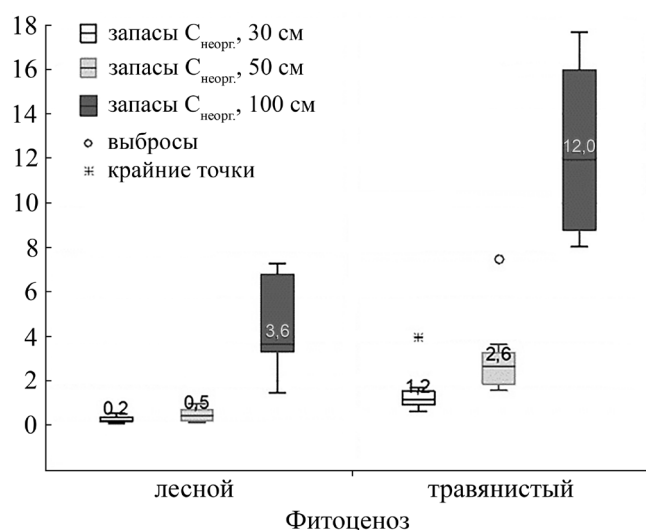


Рис. 6. Характеристика медианы и межквартильного размаха для запасов неорганического углерода для слоев 30, 50 и 100 см под древесным и травянистым фитоценозами.

Fig. 6. Characteristic of median and interquartile range for inorganic carbon stocks for the 30, 50 and 100 cm layers under woody and herbaceous phytocenosis.

отсутствием такого резкого снижения содержания $C_{орг.}$ более плавным профильным распределением органического вещества по всей гумусово-аккумулятивной толще в целом (AU + BCA) (табл. 3). Такое распределение связано с большей общей биомассой травянистых растений, формирующейся под пологом деревьев, так как отмирающая корневая система сорно-луговых трав обеспечивает прямое поступление корневого опада в почвенную толщу и постепенное убывание содержания гумуса с глубиной.

Совокупное поступление листового и травянистого растительного опада в почву приводит к изменениям в запасах органического углерода. Наибольшие его запасы в метровой толще отмечены именно в парках северо-восточной окраины города: Темерницкая роща – $27,6 \text{ кг/м}^2$, Щепкинский лес – $27,4 \text{ кг/м}^2$, лесонасаждение во 2-м поселке Орджоникидзе – $27,0 \text{ кг/м}^2$. Наименьшие показатели зафиксированы в контрольном залежном черноземе – $17,5 \text{ кг/м}^2$ (рис. 4).

Содержание неорганического углерода в поверхностном горизонте имеет наибольшие значения в залежных черноземах. Его медианные величины составляют 0,31 и 0,23 % на контрольных площадках в Ботаническом саду ЮФУ и в «Персиановской заповедной степи» соответственно, что значительно превышает его содержание во всех почвах под древесной растительностью (рис. 5). В аналогичных го-

ризонтах почв под древесной растительностью его содержание значительно меньше – $0,10 \pm 0,09 \%$. Исключение составляет площадка 7.1 под древесной растительностью, заложенная в г. Батайске, поверхность которой захламлена строительным и бытовым мусором. Также на данном участке наблюдается значительно более высокий уровень залегания грунтовых вод, что может влиять на интенсивность миграции карбонатов в почвенном профиле.

В черноземах лесопарков в иллювиальном горизонте наблюдается явление вторичного выщелачивания карбонатов, сопряженное с преобладающими нисходящими токами влаги, вследствие формирования микроклимата и изменения температурно-гидрологического режима этих почв [18; 19]. Это подтверждается проведением сравнительной характеристики запасов неорганического углерода в почвах под древесной и травянистой растительностью (рис. 6). Было выявлено, что в 30-, 50- и 100-сантиметровом слое запасы $C_{неорг.}$ под травянистой растительностью достоверно выше и составляют $1,37 \pm 0,82$, $2,88 \pm 1,52$ и $12,24 \pm 3,50 \text{ кг/м}^2$ соответственно. Под древесной растительностью эти показатели существенно ниже: $0,26 \pm 0,13$, $0,45 \pm 0,27$ и $4,35 \pm 2,02 \text{ кг/м}^2$.

Полученные к настоящему моменту данные не могут в полной мере подтвердить предположение о том, что видовой состав растений и структура растительного сообщества лесопарков являются решающим фактором в процессе накопления органического углерода в поверхностном горизонте. Так, все исследованные площадки мониторинга с древесной и травянистой растительностью существенно различаются по составу доминирующих видов как специально высаженных пород деревьев и кустарников, так и спонтанно появившихся трав, по степени проективного покрытия и обилию (табл. 1, 2).

Следует отметить, что наличие хорошо развитой травянистой растительности не всегда приводит к увеличению содержания органического вещества в дерновом горизонте, что требует дальнейших исследований на основе комплексного подхода для оценки взаимосвязей различных компонентов рекреационных зон. Тем не менее удалось выявить достоверную закономерность, связанную с возрастом лесонасаждений и содержанием органического углерода в черноземах миграционно-сегрегационных, а также различия в накоплении и распределении различных форм углерода в лесопарковых участках и степных фитоценозах.

ВЫВОДЫ

1. В черноземах лесопарков по сравнению с аналогами на залежных участках Ростовской агломерации отмечено статистически достоверное увеличение содержания органического углерода в поверхностном 10-сантиметровом слое: $4,24 \pm 0,85$ и $3,25 \pm 0,94$ % соответственно. Как следствие, черноземы лесопарков обладают наибольшими запасами $C_{\text{орг}}$ в 30-сантиметровом слое – $10,61 \pm 1,45$ кг/м² относительно залежных черноземов – $8,94 \pm 1,75$ кг/м².

2. Содержание неорганического углерода в поверхностном горизонте, напротив, имеет более высокие значения в черноземах залежных участков – $0,31 \pm 0,06$ %. В аналогичных горизонтах почв под древесной растительностью его содержание значительно меньше – $0,10 \pm 0,09$ %. Запасы $C_{\text{неорг}}$ в 30-, 50- и 100-сантиметровом слое под травянистой растительностью составляют $1,37 \pm 0,82$, $2,88 \pm 1,52$ и $12,24 \pm 3,50$ кг/м² соответственно. Под древесной растительностью эти показатели существенно ниже: $0,26 \pm 0,13$, $0,45 \pm 0,27$ и $4,35 \pm 2,02$ кг/м². Это

свидетельствует о развитии процесса вторичного выщелачивания карбонатов на лесных участках. Ранее с помощью полученных нами результатов выявлено, что этот процесс связан с преобладающими нисходящими токами влаги вследствие формирования микроклимата и изменения температурно-гидрологического режима этих почв.

3. Выявлено, что определяющую роль в накоплении органического углерода в поверхностном почвенном слое играет возраст лесопарков, так как вне зависимости от пространственного положения и видового состава старых лесонасаждений наибольшие значения содержания $C_{\text{орг}}$ обнаружены в их почвах: в лесных фитоценозах возрастом 80–85 лет содержание $C_{\text{орг}}$ в поверхностном слое достоверно выше ($4,40 \pm 0,78$ %), чем в более молодых ($3,42 \pm 0,76$ %), возраст которых составляет 20–25 лет.

Работа выполнена на базе Южного федерального университета при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00418, <https://rscf.ru/project/23-27-00418/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Wessolek G., Toland A. 2017. Devil in the sand – the case of Teufelsberg Berlin and cultural ecosystem services provided by urban soils. In: *Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. Stuttgart, Schweizerbart Science Publishers: 231–240.
- Janzen H.H. 2004. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agriculture, ecosystems & environment*. 104(3): 399–417. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.040
- Griggs D.J., Noguer M. 2002. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*. 57(8): 267–269. doi: 10.1256/004316502320517344
- Hutchinson J.J., Campbell C.A., Desjardins R.L. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142(2–4): 288–302. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.03.030
- Feller C., Bernoux M. 2008. Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration. *Waste Management*. 28(4): 734–740. doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.022
- De Kimpe C.R., Morel J.-L. 2000. Urban soil management: a growing concern. *Soil Science*. 165(1): 31–40. doi: 10.1097/00010694-200001000-00005
- Водяницкий Ю.Н. 2015. Органическое вещество в городских почвах (обзор литературы). *Почвоведение*. 8: 921–931. doi: 10.7868/S0032180X15080110
- Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Смирнова М.А., Лебедева М.П., Плотникова О.О., Заздравных Е.А., Шапова
- лов А.С. 2022. Ранние стадии эволюции черноземов под лесной растительностью (Белгородская область). *Почвоведение*. 4: 387–404. doi: 10.31857/S0032180X22040062
- Капралова О.А. 2011. Влияние урбанизации на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону. *Инженерный вестник Дона*. 4: 326–331.
- Иванисова Н.В., Куринская Л.В. 2020. *Парковые ландшафты степной зоны*. М., Директ-Медиа: 180 с.
- Безуглова О.С., Хырхырова М.М. 2008. *Почвы Ростовской области: учебное пособие*. Ростов н/Д, Южный федеральный университет: 352 с.
- Тагивердиев С.С., Горбов С.Н., Дубинина М.Н., Чурсинова К.В., Скрипников П.Н. 2014. Изменение физических и морфологических свойств почв в условиях города на примере Ростова-на-Дону. *Антропогенная трансформация природной среды*. 1: 191–195.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск, Ойкумена: 341 с.
- Алексеев В.А. 1989. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*. 4: 38–53.
- Braun-Blanquet J. 1951. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien, Springer: XI + 632 p.
- Ермолаева О.Ю., Мясникова М.А. 2014. Флористические особенности Персиановской заповедной степи. В кн.: *Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: Материалы IV Международной научно-практической конференции (Волгоград, 15–19 сентября 2014 г.)*. Волгоград, Волгоградское научное издательство: 42–46.

17. Шмараева А.Н., Кузьменко И.П., Макарова Л.И. 2021. Структура синантропной флоры особо охраняемой природной территории «Ботанический сад Южного федерального университета». В кн.: *Степи Северной Евразии: Материалы IX международного симпозиума (Оренбург, 7–11 июня 2021 г.)*. Оренбург, Оренбургский государственный университет: 866–872. doi: 10.24412/cl-36359-2021-866-872
18. Горбов С.Н., Безуглова О.С., Скрипников П.Н., Тищенко С.А. 2022. Растворимое органическое вещество в почвах Ростовской агломерации. *Почвоведение*. 7: 894–908. doi: 10.31857/S0032180X2207005X
19. Skripnikov P.N., Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S. 2022. Organic matter content and humus reserves in natural soils of Rostov agglomeration. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 4: 185–199. doi: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-185-199
9. Kapralova O.A. 2011. [Impact of urbanization on the ecological and biological properties of soils in the city of Rostov-on-Don]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 4: 326–331. (In Russian).
10. Ivanisova N.V., Kurinskaya L.V. 2020. *Parkovyye landshafty stepnoy zony*. [Park landscapes of the steppe zone]. Moscow, Direkt-Media: 180 p. (In Russian).
11. Bezuglova O.S., Khyrkhyrova M.M. 2008. *Pochvy Rostovskoy oblasti: uchebnoye posobie*. [Soils of the Rostov Region: an educational manual]. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 352 p. (In Russian).
12. Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Dubinina M.N., Chursinova C.V., Skripnikov P.N. 2014. [Changing in physical and morphological properties of soils in the city on the example of Rostov-on-Don]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy*. 1: 191–195. (In Russian).
13. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I. Gerasimova M.I. 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*. [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Oykumena: 341 p. (In Russian).
14. Alekseev V.A. 1989. [Diagnostics of vital state of trees and stands]. *Lesovedenie*. 4: 38–53. (In Russian).
15. Braun-Blanquet J. 1951. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien, Springer: XI + 632 p.
16. Ermolaeva O.Yu., Myasnikova M.A. 2014. [Floristic peculiarities of the Persianovskaya protected steppe]. In: *Izuchenie, sokhranenie i vosstanovlenie estestvennykh landshaftov: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Study, conservation and restoration of natural landscapes: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference (Volgograd, Russia, 15–19 September 2014)]. Volgograd, Volgograd Scientific Publishing House: 42–46. (In Russian).

REFERENCES

1. Wessolek G., Toland A. 2017. Devil in the sand – the case of Teufelsberg Berlin and cultural ecosystem services provided by urban soils. In: *Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. Stuttgart, Schweizerbart Science Publishers: 231–240.
2. Janzen H.H. 2004. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agriculture, ecosystems & environment*. 104(3): 399–417. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.040
3. Griggs D.J., Noguer M. 2002. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*. 57(8): 267–269. doi: 10.1256/004316502320517344
4. Hutchinson J.J., Campbell C.A., Desjardins R.L. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142(2–4): 288–302. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.03.030
5. Feller C., Bernoux M. 2008. Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration. *Waste Management*. 28(4): 734–740. doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.022
6. De Kimpe C.R., Morel J.-L. 2000. Urban soil management: a growing concern. *Soil Science*. 165(1): 31–40. doi: 10.1097/00010694-200001000-00005
7. Vodyanitskii Yu.N. 2015. Organic matter of urban soils: A review. *Eurasian Soil Science*. 48(8): 802–811. doi: 10.1134/S1064229315080116
8. Chendev Yu.G., Gennadiyev A.N., Smirnova M.A., Lebedeva M.P., Plotnikova O.O., Zazdravnykh E.A., Shapovalov A.S. 2022. Early stages of the evolution of chernozems under forest vegetation (Belgorod Oblast). *Eurasian Soil Science*. 55(4): 387–403. doi: 10.1134/S1064229322040068
17. Shmaraeva A.N., Kuzmenko I.P., Makarova L.I. 2021. [Structure of synanthropic flora of the specially protected natural area “The Botanical Garden of the Southern Federal University”]. In: *Stepi Severnoy Evrazii: Materialy IX mezhdunarodnogo simpoziuma*. [Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the Ninth International Symposium (Orenburg, Russia, 7–11 June 2021)]. Orenburg, Orenburg State University: 866–872. doi: 10.24412/cl-36359-2021-866-872
18. Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Skripnikov P.N., Tishchenko S.A. 2022. Soluble organic matter in soils of the Rostov Agglomeration. *Eurasian Soil Science*. 55(7): 957–970. doi: 10.1134/s1064229322070055
19. Skripnikov P.N., Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S. 2022. Organic matter content and humus reserves in natural soils of Rostov agglomeration. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 4: 185–199. doi: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-185-199

Поступила 14.08.2023